

DOI: 10.19333/j.mfkj.2018040170203

高性能纤维防火毡的综合性能分析

谢雅婷 唐虹

(南通大学 纺织服装学院 江苏 南通 226019)

摘要: 针对防火毡的服用性与功能性,采用碳纤维、芳纶纤维、预氧化纤维3种高性能纤维纯纺及2种80%高性能纤维/20%涤纶混纺纱制备6种防火毡,分别测试了其损毁长度、苯吸附率、顶破强度、剪切刚度、热阻、透气量。研究发现:涤纶的加入降低了阻燃功能和顶破功能,但改善了吸附性,织物柔软,透气性显著提升,隔热性略有提升。通过灰关联分析法对防火毡的综合性能进行评价并得出最优纤维防火毡材料为100%碳纤维。

关键词: 高性能纤维;防火毡;性能分析;灰关联

中图分类号: TS 101.5 文献标志码: A

Performance analysis of high performance fire-proof felt

XIE Yating, TANG Hong

(College of Textile and Clothing, Nantong University, Nantong, Jiangsu 226019, China)

Abstract: In this paper, three high-performance fibers, carbon fiber, aramid fiber and pre-oxidized fiber, were spun pure and 80% high-performance fiber 20% polyester blended. Then compared the suitability and functionality of the six kinds of fire-proof felt. The damage length, benzene adsorption rate, bursting strength, shear stiffness, thermal resistance and air permeability were tested respectively. It was found that the addition of polyester reduced the flame retardant function and the top breaking function, but improved the adsorption, the softness, the breathability and the heat insulation. The comprehensive performance of fire-proof felt was evaluated by gray correlation analysis method. And the result showed that the fire-proof felt made from 100% carbon fiber was the optimal one.

Keywords: high-performance fibers; fire-proof felt; overall performance; grey relation

高性能纤维发展迅速,其在防火材料中应用日益广泛,成为投资的新热点、新趋势。全球防火纺织品市场的销售额为每年200亿美元^[1],而中国大陆防火防护用品的需求也在200亿人民币左右,未来功能性纺织品的市场销售额每年还将以1.8%的速度增长。新技术新产品不断更新,新纤维及其应用成为研究的热点^[2]。

高性能纤维是目前防火毡的主要原料。高性能纤维是指与传统的天然纤维和合成纤维相比,具有

高弹性系数、高强度、耐热性、耐化学药品性、电绝缘性的新型化学纤维,并对外部的作用不易产生反应^[3]。目前国内外用于防火毡的材料主要有碳纤维、芳纶纤维、预氧化纤维3种纤维性能各异,碳纤维有比强度比模量大、耐磨、抗疲劳、耐高温、热膨胀系数小、耐化学腐蚀等特点,但极限延伸率小,使用时加工编织缠绕性略差,抗剪强度较低,易折断;芳纶纤维弹性好,有很高的延展率,但耐热性能差,易吸湿,密度低;预氧化纤维耐高温、耐燃,纤维表面光滑、挺直,但强度低、静电严重,纺织加工难度大^[4]。为充分发挥高性能纤维的性能优势,取长补短,可用高性能纤维与普通纤维如涤纶混纺以改善其性能、提高性价比。

本文通过对碳纤维、芳纶纤维、预氧化纤维3种高性能纤维纯纺及与涤纶等比例混纺的6种防火毡进行服用性与功能性测试与分析,比较纯纺和混

收稿日期: 2018-04-17

基金项目: 国家重点研发项目(2018YFC0810302); 江苏省高等学校自然科学研究重大项目(17KJA540001)

第一作者简介: 谢雅婷,硕士生,主要研究方向为高性能纤维、功能纤维、智能服装。通信作者: 唐虹,教授, E-mail: tang.h@ntu.edu.cn。

纺纱防火毡的性能变化规律性,用灰关联分析方法找出防火毡最佳纤维组合,为科学设计防火毡提供理论依据。

1 试样准备

分别采用碳纤维、芳纶纤维、预氧化纤维 3 种高性能纤维纯纺及 2 种 80% 高性能纤维/20% 涤纶混纺纱制成 6 种防火毡,比较其服用性和功能性。防火毡加工流程为:高性能纤维→梳毛机梳理→铺成网状→捣毡缩绒→二次捣毡→拉毛烘干→高温定型→成品处理→质量检验→入库储存。试样规格见表 1。

表 1 试样规格

试样编号	成分/%	厚度/mm	面密度/(g·m ⁻²)
1	碳纤维 100	2.51	367.9
2	碳纤维/涤纶 80/20	3.19	368.8
3	芳纶 100	1.40	171.2
4	芳纶/涤纶 80/20	2.45	169.4
5	预氧化纤维 100	1.98	212.2
6	预氧化纤维/涤纶 80/20	2.74	211.6

2 性能测试与分析

实验测试 6 种防火毡的阻燃性能、吸附性能、顶破性能、剪切性能、隔热性能和透气性能,实验仪器分别为 LLY-07 A 织物阻燃性测试仪、蒸化机(南通市特种与功能化纤维及应用工程技术研究中心),YG(B)032D 电子式织物顶破强力试验仪、YG821 L 面料风格仪、YG(B)751D 数字式恒温恒湿箱、YG(B)461E 数字式织物透气性能测定仪(江苏省安全与防护用纺织品工程实验室)。测试指标分别为损毁长度、苯吸附率、顶破强度、剪切刚度、热阻、透气量。按照 GA10—2014《消防员灭火防护服》的相关要求测试,其中损毁长度越大表示阻燃性能越差、苯吸附率越高表示吸附性能越好、顶破强度越大表示顶破性能越高、剪切刚度越大表示不易变形、热阻越大表示隔热性能越好、透气量越大表示透气性能越好^[5]。3 种高性能纤维及其混纺产品的综合性能测试数据如图 1 所示。

分析图 1 可知,纯纺产品的损毁长度均低于相应的混纺产品。纯纺产品的损毁长度由高到低的顺序为芳纶、预氧化纤维、碳纤维,混纺产品的损毁长度由高到低顺序为芳纶、碳纤维、预氧化纤维。纯纺产品的平均损毁长度为 1.53 cm,混纺后产品平均损毁长度为 2.71 cm,上升了 77.1%,涤纶的混入降低了防火毡的阻燃性。纯纺产品的苯吸附率低于混

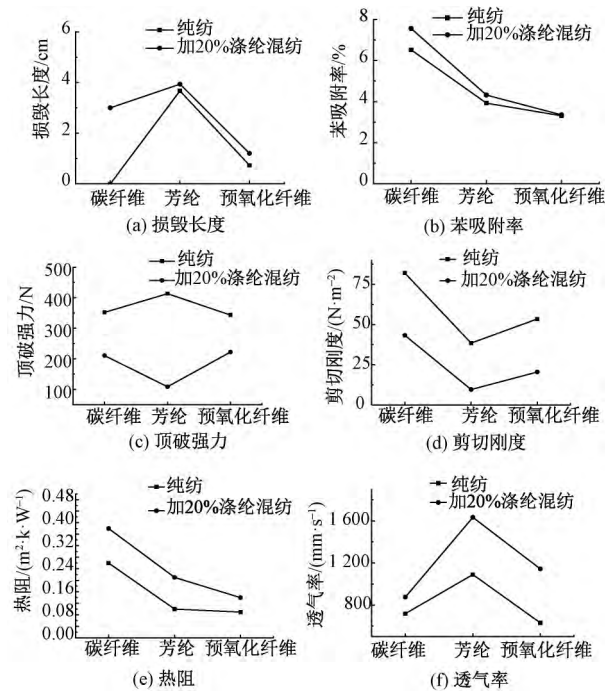


图 1 3 种高性能纤维及混纺防火毡的防火性能

纺后产品的苯吸附率,3 种高性能纤维纯纺和混纺产品的吸附性能一致性较好,由高到低的顺序为碳纤维、芳纶、预氧化纤维。纯纺产品的平均苯吸附率为 4.58%,混纺产品的平均苯吸附率为 5.08%,平均上升了 10.9%,涤纶的加入改善了防火毡的吸附性。

纯纺产品的顶破强度高于混纺产品的顶破强度^[6]。纯纺产品的顶破强度由高到低的顺序为芳纶、碳纤维、预氧化纤维,混纺产品顶破强度由高到低顺序为预氧化纤维、碳纤维、芳纶。纯纺产品的平均顶破强度为 369.47 N,混纺产品的平均顶破强度为 180.4 N,平均下降了 51.2%,涤纶的混入降低了防火毡的顶破性能。

纯纺产品的剪切刚度高于混纺产品的剪切刚度。纯纺产品的剪切刚度与混纺产品的剪切刚度一致性好,由高到低的顺序为碳纤维、预氧化纤维、芳纶。纯纺产品的平均剪切刚度为 57.97 N/m²,混纺产品的平均剪切刚度为 24.47 N/m²,平均下降了 57.8%。涤纶的加入显著降低了防火毡的剪切性,剪切刚度明显减小,织物变得柔软。

纯纺产品的热阻性能由高到低的顺序为碳纤维、芳纶、预氧化纤维,混纺产品的损毁长度由高到低顺序为碳纤维、芳纶、预氧化纤维。纯纺产品的平均热阻为 0.19 m²·K/W,混纺产品的平均热阻为 0.20 m²·K/W,平均上升了 5.3%。涤纶的混入略微提升了防火毡的隔热性能。

纯纺产品的透气量明显低于混纺产品的透气量。纯纺产品的透气量由高到低的顺序为芳纶、碳

纤维、预氧化纤维,混纺产品的透气量由高到低顺序为芳纶、预氧化纤维、碳纤维。纯纺产品的平均透气量为 813.67 mm/s,混纺产品的平均透气量为 1 217.53 mm/s,平均上升了 49.6%,涤纶的加入显著提升了防火毡的透气性。

3 防火毡综合性能灰关联分析

灰色关联度是根据因素之间发展态势的相似程度来衡量因素之间关联的程度,它揭示了事物动态关联的特征与程度^[7]。本文通过灰关联分析出最佳性能参数,然后通过关联度比较,找出最佳防火毡材料步骤为:

①确定参考数列 X_i 和比较数列 Y_j 。

②无量纲化处理参考数列和比较数列。初值化:矩阵中的每个数均除以第 1 个数得到的新矩阵;均值化:矩阵中的每个数均除以用矩阵所有元素的平均值得到的新矩阵;区间相对值化。

③求两极最大差 Δ_{\max} 和两极最小差 Δ_{\min} 。

④求灰色关联系数 $\varepsilon_{ji}(k)$:

$$\varepsilon_{ji} = \frac{\min \min | \hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k) | + \rho \max \max | \hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k) |}{| \hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k) | + \rho \max \max | \hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k) |}$$

式中 ρ 为分辨系数 $\rho \in (0, 1)$,一般取 0.5。

⑤求关联度 r :

$$r_{ji} = 1/n \sum_{k=1}^n \varepsilon_{ji}(k)$$

r 值越接近 1,说明相关性越好^[8]。

结合灰关联分析方法,得出防火毡性能参数(损毁长度、苯吸附率、强力、剪切刚度、热阻、透气率)最佳组合分别为(0, 7.56, 108.4, 82, 0.38, 1 633.51),并以组合作为最优参数,关联系数取 $\rho = 0.5$,可求得关联系数矩阵为:

0.384 8	0.598 6	0.333 3	1.000 0	0.393 6	0.572 5
1.000 0	0.333 3	0.600 0	1.000 0	0.819 7	1.000 0
0.384 8	0.598 6	0.333 3	1.000 0	0.393 6	0.572 5
0.386 9	1.000 0	0.348 7	0.654 3	0.333 3	0.424 0
0.534 6	0.333 3	0.741 4	0.357 5	1.000 0	0.463 2
0.470 6	1.000 0	0.363 6	0.695 7	0.333 3	0.727 3

利用公式: $r_i = 1/n \sum_{k=1}^n \varepsilon_i(k)$, $i = 1, 2, \dots, m$, 计算关联度得: $r_1 = 0.760 0$, $r_2 = 0.613 5$, $r_3 = 0.477 6$, $r_4 = 0.619 7$, $r_5 = 0.565 2$, $r_6 = 0.513 7$ 。

因为 $r_1 > r_4 > r_2 > r_5 > r_6 > r_3$, 所以试样 1 与最优材料参数的关联度最大;根据关联度大小,又因

作为防火毡材料,阻燃性能为主要功能,综合本文上述 2 个模块的分析,评价试样 1 的性能优于其他材料,损毁长度低,苯吸附率较高,顶破强力大,剪切刚度大,隔热性能优异,透气性较好。得到不同材料试样综合性能排名为:碳纤维 100 > 芳纶/涤纶 80/20 > 碳纤维/涤纶 80/20 > 预氧化 100 > 预氧化/涤纶 80/20 > 芳纶 100。

4 结 论

高性能纤维防火毡,在其舒适性与功能性上各有差异,与纤维的特性、纤维组合有关。

① 3 种高性能纤维在功能性与服用性上差异明显。碳纤维防火毡阻燃性能优异,吸附性好,剪切刚度大,织物硬,隔热性能好;预氧化纤维防火毡阻燃性、透气性等一般,吸附功能和隔热功能较低;芳纶纤维防火毡阻燃性能较差,顶破性能弱,剪切刚度小,织物柔软,透气性好。

② 3 种高性能纤维防火毡加入 20% 涤纶后,各项性能均发生了变化。涤纶的加入降低了阻燃功能和顶破功能,但改善了吸附性,织物柔软,透气性显著提升,隔热性略有提升。

③ 通过灰关联分析,找出了各项性能的影响因素,得出碳纤维防火毡综合性能最为优越。

参考文献:

[1] 王立,张玉成. LOTAN 高性能阻燃纤维的特性及其应用领域[J]. 新材料产业, 2016(3): 16-18.

[2] 肖长发. 高性能纤维发展概况[J]. 纺织导报, 2005(9): 50-54.

[3] 朱平. 功能纤维及功能纺织品[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2013: 8-9.

[4] 田素峰,王乐军,马君志,等. 阻燃抗熔融粘胶纤维[J]. 纺织导报, 2006(11): 66-69.

[5] 罗益锋,罗晰旻. 碳纤维及其复合材料的最新市场发展及前景[J]. 纺织导报, 2013(11): 42-48.

[6] PHILIPPE Dubois. Bio-based flame retardants: When nature meets fire protection[J]. Materials Science and Engineering, 2017, 117: 1-25.

[7] CHEN Yajun. Terminal group effects of phosphazene-triazine bi-group flame retardant additives in flame retardant polylactic acid composites [J]. Polymer Degradation and Stability, 2017, 140: 166-175.

[8] 骆诗华. 棉纱质量与棉纤维指标的灰关联分析[J]. 国际纺织导报, 2015, 43(1): 23-25.